

# 普适环境室内定位系统研究

梁韵基 周兴社 於志文 倪红波

(西北工业大学计算机学院 西安 710129)

**摘要** 位置感知服务是普适计算的一类重要应用。在位置感知服务中,位置信息是关键上下文之一。如何获取位置上下文,是位置感知服务中的关键点之一。基于不同的应用背景和服务,目前已经存在大量的定位系统。从室内定位的角度,研究了定位系统中的关键技术和方法,并对各种技术进行了分析比较;在分析现有普适环境下典型的室内定位系统基础上,提出了室内定位系统所面临的挑战。

**关键词** 普适环境,定位技术,室内定位

**中图分类号** TP391 **文献标识码** A

## Analysis of the Indoor Positioning Systems in Pervasive Environment

LIANG Yun-ji ZHOU Xing-she YU Zhi-wen NI Hong-bo

(Department of Computer Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

**Abstract** Location-aware application is a gripping research field in pervasive computing. The current location of an object is one of the most important contexts. Currently, numerous prototype positioning systems were built to locate objects in different backgrounds and applications. This paper described the key techniques and methods of indoor positioning. Pros and cons of different methods were also discussed. Based on the analysis of the existing indoor positioning systems, we pointed out the hurdles and challenges of indoor positioning systems in pervasive environment.

**Keywords** Pervasive environment, Positioning techniques, Indoor positioning

普适计算是一种计算不可见的计算模式,强调在最少分散用户注意力的前提下,实现对数据随时随地的访问<sup>[1]</sup>。普适计算处理的数据对象是上下文信息。上下文是指能够特征化描述实体状态的任何信息,实体可以是人、位置或者与人和服务相关的任何物体,包括人和服务本身<sup>[2]</sup>。其中位置是非常重要的上下文<sup>[3]</sup>,是连接虚拟世界和现实世界的桥梁<sup>[4]</sup>。

基于用户位置信息的位置感知成为普适计算的主要研究课题之一。在位置感知系统中,获取用户的位置信息成了亟需解决的问题。定位技术成为普适计算领域的研究热点。

定位是指确定客体之间空间关系的一种机制。定位系统通过传感器获取系统的空间方位属性,然后利用相关算法计算位置信息。定位系统可以分为物理定位系统和标示定位系统。物理定位系统提供物理实体的具体位置坐标,而标示定位系统提供实体所处的范围信息。根据定位的精度,定位系统可分为粗粒度定位和细粒度定位<sup>[5]</sup>。粗粒度系统覆盖范围较大,定位精度一般为米量级,适用于户外定位;在保证一定正确率的前提下,细粒度系统注重定位精度,适用于室内定位。

本文主要研究普适环境下的室内定位技术和应用系统。第 1 节比较定位系统中的各种信号媒介及其特点;第 2 节介绍主要的信号测量技术;第 3 节描述位置估算算法;第 4 节分

析研究普适环境下典型的室内定位系统;第 5 节针对室内定位的要求,提出定位系统所面临的挑战。

### 1 信号媒介

随着无线通信技术的发展,定位系统中使用的信号媒介日益丰富。定位系统需要根据覆盖范围、精度、费用、功耗等因素选择合适的信号媒介。

定位系统通常使用的信号媒介包括 RF(Radio Frequency)、红外线、超声波和光学等,其中 RF 细分为 WLAN(Wireless Local Area Network)、RFID(Radio Frequency Identification)、蓝牙和 UWB(Ultra Wide Band)。表 1 对各种媒介信号进行分析比较,列出了典型信号媒介的特点。

表 1 信号媒介特点

信号技术	技术特点
RF	覆盖范围广,WLAN 的典型覆盖范围为 50m~100m,蓝牙为 10m~15m,RFID 为 1m~10m;非视线关系约束;价格低;
红外线	典型覆盖范围 5m;价格便宜,低功耗;容易受太阳光干扰;视线关系约束;
超声波	典型覆盖范围 3m~10m;定位精度高;超声波易受周围环境影响;视线关系约束;
光学(视觉)	高精度,价格昂贵;视线关系约束;低功耗;
UWB	价格高;高精度实时定位;低功耗,非视线关系 <sup>[6,7]</sup> ;

到稿日期:2009-04-22 返修日期:2009-07-20 本文受国家 863 高技术研究发展计划基金项目(2009AA010000),教育部博士点基金新教师课题(20070699014),西北工业大学研究生创业种子基金(200858)资助。

梁韵基(1984-),男,硕士生,主要研究方向为普适计算,E-mail:lemonliang@mail.nwpu.edu.cn;周兴社(1955-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为嵌入式计算、分布式计算、传感器网络;於志文(1977-),男,教授,硕士生导师,主要研究方向为普适计算、人机交互、智能信息技术;倪红波(1975-),男,博士,讲师,主要研究方向为普适计算、资源管理。

随着通信技术手段的日益成熟,基于 RF 和红外线的商业级定位产品得到广泛的应用。与其它的信号技术相比,它们价格低廉,技术相对成熟。但是它们定位精度低,无法实现细粒度定位。基于超声波和光学的定位系统要求满足视线关系(Line of Sight, LOS),即两个节点间没有障碍物间隔。因为室内环境复杂,墙壁和物品常阻碍信号的传播,所以室内环境多不能满足视线关系。UWB 具有较强的穿透力,可以克服视线关系的约束,方便系统在复杂环境下的部署。

## 2 信号测量技术

定位系统通常利用被测信号的 TOA (Time of Arrival), TDOA (Time Difference of Arrival) 和 RSS (Received Signal Strength) 测定发送节点和接收节点之间的距离<sup>[8]</sup>, 利用传播信号的 AOA (Angle of Arrival) 确定发送节点和接收节点之间的空间角度关系。

TOA 测量信号在发送节点和接收节点之间的传播时间。传播时间反映了两者之间的距离。但是室内传播环境的特点为精确测量 TOA 提出了挑战<sup>[9]</sup>。

TDOA 机制中,发送节点同时发射两种传播速率不同的无线信号,接收节点根据两种信号到达的时间差和信号的传播速率,利用式(1)计算两个节点之间的距离:

$$L = (T_2 - T_1) \times \frac{C_1 C_2}{C_1 - C_2} \quad (1)$$

其中,  $T_1, T_2$  表示两种信号到达接收节点的时间;  $C_1, C_2$  表示两种信号的传播速率;  $L$  表示发送节点和接收节点之间的距离。

RSS 利用信号的衰减原理。信号在空中传播时,信号强度随着传播距离的增加而规律性衰减。在基于 RSS 的定位系统中,已知发送节点的发射信号强度,接收节点根据接收信号的强度和理论或经验的路径损耗传播模型计算距离,统计模型<sup>[10]</sup>如式(2)所示:

$$P(d) = P_0 - 10n_p \log \frac{d}{d_0} \quad (2)$$

其中,  $P(d)$  表示在距离  $d$  处的信号强度;  $n_p$  为路径损耗因子;  $P_0$  是在参考距离  $d_0$  处的信号强度。

AOA 通过方向性天线或阵列天线,获取发送节点发射的无线信号的到达方向,计算接收节点和发送节点之间的相对方位或角度,然后通过定位算法估计目标节点位置。

TOA 和 TDOA 可以实现高精度定位,但由于被测信号的传播速度较快,为了精确地获取相关时间数据,系统对硬件设备要求比较高。TOA 要求节点间保持精确的时间同步<sup>[11]</sup>,而 TDOA 消除了对于时间基准的依赖性,降低了系统的成本。RSS 定位不需要额外的硬件设备,但 RSS 定位需要预先建立位置和信号强度之间的映射关系。当参考节点移动时,需要重新建立映射关系,这给定位系统的部署和扩展造成极大的不便。AOA 定位不仅提供目标节点的坐标,而且可以表示节点之间的方位信息<sup>[12]</sup>,但是 AOA 测量技术易受外界影响。当目标节点距离天线阵列较远时,定位角度的微小偏差会导致定位线性距离的较大误差。

## 3 位置估算

位置估算是根据被测信号的相关参数,对目标节点的位置坐标进行估算的方法。位置估算方法主要分为 3 种:三角

测量、场景分析和附近定位<sup>[13]</sup>。

### 3.1 三角测量

三角测量主要通过目标节点和参考节点之间的几何关系来确定位置。三角测量可以细分为边测量法和角测量法<sup>[14]</sup>。

边测量法是通过测量目标节点到多个参考节点的距离来确定目标节点的位置坐标;角测量法是通过目标节点与多个参考节点之间的角度来确定位置。此外还有其它的边测量技术,文献<sup>[15]</sup>对其进行了详细论述。

边测量法原理如图 1 所示。已知  $A, B, C$  3 个节点的坐标分别为  $(x_a, y_a), (x_b, y_b), (x_c, y_c)$ 。它们到未知节点  $D(x, y)$  的距离分别为  $d_a, d_b, d_c$ 。显然式(3)所示的关系成立:

$$\begin{cases} (x_a - x)^2 + (y_a - y)^2 = d_a^2 \\ (x_b - x)^2 + (y_b - y)^2 = d_b^2 \\ (x_c - x)^2 + (y_c - y)^2 = d_c^2 \end{cases} \quad (3)$$

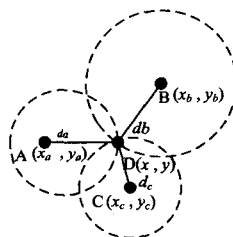


图 1 边测量法

由式(3)可以求得点  $D(x, y)$  的具体坐标。结果如式(4)<sup>[16]</sup>所示。

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2(x_a - x_c) & 2(y_a - y_c) \\ 2(x_b - x_c) & 2(y_b - y_c) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_a^2 - x_c^2 + y_a^2 - y_c^2 + d_c^2 - d_a^2 \\ x_b^2 - x_c^2 + y_b^2 - y_c^2 + d_c^2 - d_b^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

角测量法原理如图 2 所示。已知  $A, B, C$  3 个节点的坐标分别为  $(x_a, y_a), (x_b, y_b), (x_c, y_c)$ 。假设未知节点  $D$  的坐标为  $(x, y)$ 。

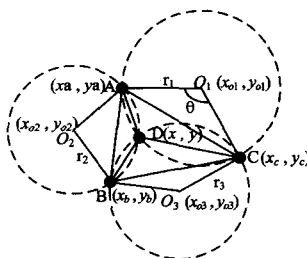


图 2 角测量法

对于节点  $A, C$  和弧  $\widehat{ADC}$ , 可以唯一地确定一个圆。设圆心坐标为  $O_1(x_{o1}, y_{o1})$ 、半径为  $r_1$ , 那么  $\theta = \angle AOC = (2\pi - 2\angle ADC)$ , 并满足式(5)<sup>[16]</sup>所示的关系:

$$\begin{cases} (x_{o1} - x_a)^2 + (y_{o1} - y_a)^2 = r_1^2 \\ (x_{o1} - x_c)^2 + (y_{o1} - y_c)^2 = r_1^2 \\ (x_a - x_c)^2 + (y_a - y_c)^2 = 2r_1^2 - 2r_1^2 \cos \theta \end{cases} \quad (5)$$

由式(5)可以确定圆心  $O_1$  的坐标和半径  $r_1$ 。同理点  $A, B$ , 弧  $\widehat{ADB}$  和点  $B, C$ , 弧  $\widehat{BDC}$  分别对应圆心  $O_2(x_{o2}, y_{o2})$ , 半径  $r_2, O_3(x_{o3}, y_{o3})$ , 半径  $r_3$ 。最后利用边测量法,由点  $O_1(x_{o1}, y_{o1}), O_2(x_{o2}, y_{o2}), O_3(x_{o3}, y_{o3})$  确定点  $D(x, y)$  的坐标。

### 3.2 场景分析

场景分析通过特定角度获取场景中的相关特征数据,利

用特征数据与预先建立的场景指纹信息匹配,从而实现定位。场景分析通常使用基于 RSS 的位置指纹。位置指纹是指从信号中获取依赖于位置信息的数据特征。场景分析通常包括两个阶段:离线阶段和在线阶段<sup>[17]</sup>。离线阶段是数据采集过程,基站获取各个位置的 RSS,将位置坐标与 RSS 建立映射关系;在线阶段则是利用目标位置的 RSS,与之前建立的映射关系进行匹配,从而估计目标的位置。

### 3.3 附近定位

附近定位提供相对位置信息,测定目标节点所处的范围。附近定位依靠部署在固定位置的密集天线阵列实现定位。当唯一的一个天线检测到某一移动目标时,系统认为移动目标处于该天线的覆盖范围;当多个天线检测到同一个移动目标时,认为移动目标与接收信号强度最强的天线处在同一区域<sup>[10]</sup>。附近定位通常可以通过如下 3 种方式实现:检测物理连接、检测无线蜂窝网中的访问节点和检测标识号<sup>[13]</sup>。

## 4 普适环境下典型的室内定位系统分析

目前已经建立了一些室内定位系统。这些系统彼此之间存在巨大差异,但定位系统的一般框架如图 3 所示,通常包括信号测量、位置估算和位置求精 3 个阶段,其中第三个阶段是可选的<sup>[18]</sup>。

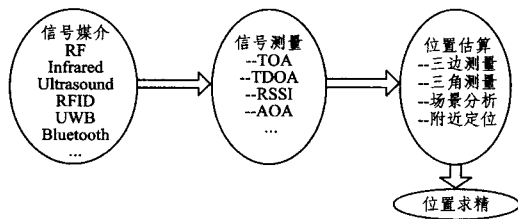


图 3 定位系统一般框架

第一个阶段是信号测量,首先测量未知节点同参考节点的距离或者角度关系,从而计算未知节点和参考节点之间的直线距离;第二个阶段是位置估算,未知节点在测得到达 3 个或者更多参考节点的距离或者角度后,利用位置估计算法计算未知节点的坐标;第三个阶段是位置求精,对求得的节点坐标进行求精,减少误差,提高定位精度。

定位系统在上述 3 个阶段采用技术的差异将对系统的性能产生重大影响。不同系统旨在满足不同的应用背景和支持不同的服务。普适环境下典型的室内定位系统根据信号媒介的差异,大致可以分为基于 RF、红外线、超声波、RFID、视觉、UWB 等类型。下面按类型对室内定位系统进行分析。

### 4.1 RF 定位系统

Microsoft 研究小组基于 IEEE 802.11 无线局域网,建立了 RADAR 系统<sup>[19]</sup>。RADAR 是基于 RSS 利用场景分析建立的定位系统。系统中需要建立 Radio Map。Radio Map 是通过观测室内多个无线接入点处的信号强度而产生的数据集。Radio Map 中的实例可以表示为  $(x, y, z, ss_i)$ , 其中  $(x, y, z)$  表示物理坐标,  $ss_i$  表示第  $i$  个接入点处的信号强度<sup>[20]</sup>。在定位目标时,系统利用接收信号强度来匹配 Radio Map 数据集,从中选择与接收信号强度最接近的样本点作为目标的位置信息。

### 4.2 红外线定位系统

Active Badge<sup>[21]</sup>是由 Olivetti 实验室基于红外线开发的附近定位系统。系统中的移动单元是一个小型的轻量级红外

线发射器。它以固定的频率广播全球唯一标识号,同时定位区域的固定位置放置红外线接收机,接收红外信号携带的数据,并通过有线网络与中心服务器连接。当接收机检测到红外信号时,系统认为发射器处于接收机覆盖区域之内,利用接收机的位置确定发射器的方位信息。

### 4.3 超声波定位系统

Active Bat<sup>[22]</sup>是由 AT&T 实验室开发的超声波定位系统。该系统主要有 4 部分:发射器、接收器、控制器和中心节点。

Active Bat 标签响应查询命令,向接收器阵列发送一个超声波脉冲,同时控制器向所有的接收器发送一个同步复位信号。每个接收器测量从复位到接收超声波脉冲的时间间隔,然后将这些数据交给中心节点进行相关的定位计算。

Cricket 系统<sup>[23]</sup>是麻省理工学院的 Oxygen 项目的一部分,利用 TDOA 来测量移动节点的位置。安装在天花板上的发射节点周期性地发送无线射频信号和超声波信号。无线射频信号中包含了发射节点的位置信息,而超声波信号是纯脉冲信号,不包含语义信息。由于射频信号的传播速率远大于超声波信号的传播速率,目标节点在收到无线射频信号时,会同时打开超声波信号接收机,根据两种信号到达时间间隔和传播速度,计算目标节点和发送节点之间的距离。然后选择距离目标节点最近的发射节点,从该节点的广播信息中确定自身的位置。

### 4.4 RFID 定位系统

LANDMARC<sup>[24]</sup>是由密歇根州立大学和香港科技大学合作开发的基于 RFID 的室内定位系统。系统引入了参考标签的概念。参考标签被放置在固定的位置,读卡器通过比较从目标标签和参考标签获取的信号强度,来确定距离目标标签最近的参考标签,然后赋予距离目标标签最近的参考标签一个较高的权值,通过权值和参考标签的位置来确定目标标签的位置。

LANDMARC 系统引入参考标签,提高了系统的正确率和可靠性。另外避免大量使用昂贵的阅读器,降低了系统的费用,提高了系统的实用性。该系统采用 RFID 技术,其无连接和非视线关系(Not Line of Sight, NLOS)的特点提高了系统的可扩展性<sup>[25]</sup>。文献[26]从能耗和系统费用等角度对 LANDMARC 系统进行了改进。

SpotOn<sup>[27]</sup>借鉴了 Ad hoc 网络中的设计思想。系统中不设置中心控制节点,而是采用了一种完全分散的系统架构。系统中的各个节点之间相互平等,这打破了过去集中式的系统架构,从而提高了系统的可扩展性。

### 4.5 视觉定位系统

EasyLiving<sup>[28]</sup>是由 Microsoft 视觉技术研究小组利用机器视觉开发的定位系统。EasyLiving 系统利用两个彩色三维相机定位,并识别室内环境下多用户的状态。虽然 EasyLiving 通过三维相机可以同时识别多个用户,但这需要庞大的计算量,要求系统具有非常强大的计算能力。另外,因为需要专用设备,系统的费用比较高。

不同于 EasyLiving 系统, Trip<sup>[29]</sup>系统采用二维圆形条形码标签和普通的 CCD (Charge Coupled Device) 相机进行目标的识别和定位。它使用局域网中空闲的计算资源,降低了系统对运算能力的要求,减少了系统的费用。另外, Trip 系统

中采用了基于事件的分布式架构,系统的功能封装在 COR-BA (Common Object Request Broker Architecture)组件中,从而提高了系统的可扩展性。

#### 4.6 UWB 定位系统

Ubisense<sup>[30]</sup>是剑桥大学基于 UWB 开发的精确实时定位系统。Ubisense 系统发挥了 UWB 无线技术的优点<sup>[7]</sup>,可以实现高精度定位。因为 UWB 信号具有较强的穿透能力,所以它克服了视线关系约束,适用于复杂环境下的大范围部署。Ubisense 定位系统可以实现实时定位,它的系统响应时间为毫秒级。

#### 4.7 其他

Smart Floor<sup>[31]</sup>通过在地板下部署嵌入式压力传感器来获取用户的脚印数据信息,从而实现对用户的识别和跟踪。Active Floor<sup>[32]</sup>采用与 Smart Floor 相似的方法。但是这两个系统在部署上存在缺陷,如果覆盖较大的范围,则整个系统的费用庞大。文献[33]从定位精度和费用的角度出发,对 Smart Floor 系统进行了改进。

另外,声波也被引入到定位系统中。Beep<sup>[34]</sup>是一个利用声波确定目标三维坐标的系统。传感器节点通过测量声波的 TOA,确定目标用户的位置。

### 5 室内定位系统面临的挑战

定位系统是位置感知服务的基础。文献[14]从精确度、正确率、规模、费用等角度对部分定位系统进行了比较。文献[35]引入可扩展性以及隐私等指标来评价定位系统。通过对普通环境下室内定位系统的综合研究和分析,我们发现基于不同技术所建立的定位系统具有其自身的优缺点。目前室内定位系统的研究仍面临一些挑战。

#### 5.1 定位系统的无负担性

已有的室内定位系统往往需要用户携带相关辅助设备。例如在 Active Badge 系统中,用户需要佩戴一个红外的 badge;在 Active Bat 系统中,用户需要随身携带一个 Bat 设备;基于 RFID 技术设计的室内定位系统若移动目标,同样需要配备 RFID 标签。这些辅助设备增加了用户的负担。因为用户需要保证随身携带这些设备,甚至对辅助设备进行操作。此外,如果辅助设备丢失或者被损坏,定位系统将无法正常工作。辅助设备的引入使得用户需要携带并操作设备,甚至检测设备的工作状态,这将分散用户的注意力,给用户造成一定的负担。

虽然基于视觉的系统不需要用户携带辅助定位设备,但是它们需要保证光线、拍摄角度等因素不会给系统造成影响。

普适计算追求的是计算的不可见。实现该目标的合理方法是最少地分散用户的注意力<sup>[36]</sup>。辅助设备的引入与该目标不一致,增加了用户负担。无负担性的本质是设备自身对于用户而言是不可见的。不可见性要求设备微型化、功能单一化并嵌入到物理实体中。

#### 5.2 定位系统的扩展性和易部署性

可扩展性是指新的节点可以方便地接入现存系统,获取相关的服务。系统只有在具有良好的扩展性前提下才能够实现易部署的目标。当前定位系统的可扩展性普遍较差。

RADAR 系统建立 Radio Map 是整个系统的关键。如果在系统中加入新的基站节点,则需要重新构造 Radio Map,这

极大地限制了系统的可扩展性。Active Bat 系统中,安装在天花板上的接收机通过串行的高速网络连接并排列成菊花链。这种部署方法不能满足系统扩展的要求。基于超声波的定位系统多采用集中式的体系结构<sup>[37]</sup>,而这种结构不利于系统的扩展。

从现有的技术来看,基于 RFID 和 UWB 的系统具有良好的可扩展性,方便部署。RFID 系统中阅读器和标签之间通过无线的方式进行通信,而且标签可以不受固定拓扑结构的约束,形成一个完全分布式的系统。UWB 系统具有较强的穿透能力,克服了视线关系,方便部署。

#### 5.3 定位系统的健壮性

健壮性是指系统在局部发生故障或失效的情况下,仍然能够提供适当服务的能力。

现在的定位系统无法在物理设备失效或拓扑结构变化的情况下保证系统的健壮性。例如 LANDMARC 系统引入了参考节点,如果参考节点失效,则整个定位系统就无法正常工作。

另外,室内定位系统的健壮性在紧急情况下非常重要。假设一座安装了室内定位系统的建筑发生了火灾,定位系统中的部分设备便会损坏或者暂时性失效,例如在浓烟的情况下摄像头无法正常工作;因为供电系统损坏,部分定位模块无法运转。在这些突发情况下,室内被困人员如何通过定位系统顺利逃生,消防人员如何确定自己在建筑物中的位置及被困人员的位置等问题值得探讨。

研究人员针对定位系统的健壮性已经进行了初步的研究。文献[38]基于标识码提出了一个适用于紧急状况下实现健壮定位的系统框架;文献[39]提出了一个健壮的定位系统 ROPE,它通过位置验证机制来提高系统的健壮性。另外,部分研究人员从提高定位算法健壮性的角度<sup>[40,41]</sup>保证系统在复杂多变的环境中的处理能力。

#### 5.4 定位系统的响应时间

响应时间是指在给定输入信号下定位系统输出位置信息的时间。系统的响应时间在定位移动目标时有非常重要的作用。文献[42]认为响应时间是设计定位系统中需要考虑的问题之一,但现有的定位系统大多忽略了该指标<sup>[35]</sup>。普通环境中往往需要根据多个目标的位置信息来推断目标的状态,这种同时对多个目标进行定位的场景对系统响应时间提出了较高的要求。如果定位系统的响应时间较长,则无法判断短暂的状态变化。表 2 列出部分定位系统的响应时间<sup>[21,43]</sup>。

表 2 定位系统响应时间<sup>[21,43]</sup>

系统名称	响应时间(秒)
Active Badge	15
IEEE 802.11	10
Ubisense	0.1

显然,在需要对多个移动目标定位的场景中,定位系统的响应时间是衡量系统好坏的重要指标之一。这些场景对于系统响应时间的要求通常是毫秒级。人体日常行为的变化频率为 20Hz<sup>[44]</sup>,但当前定位系统还不能满足实时性的要求。

**结束语** 基于位置感知的应用服务成为普适计算研究和应用的热点之一。本文分析了普通环境下典型的室内定位系统及其关键技术。分析表明,不同的定位技术都有其自身的缺陷,有些缺点在部分应用背景下甚至是致命的。针对这些

问题,混合式系统应该成为定位系统的一个发展方向,应通过多种定位技术的结合来优化定位系统的各项指标。

另外,本文提出了室内定位系统面临的问题和挑战。定位系统需要更好地融入实际场景,而不分散用户的注意力,给用户造成负担。更重要的是,现在的定位系统在突发事件场景中不适用。在突发紧急事件中,定位系统的健壮性是我们需要关注的焦点。最后,多用户的位置检测对定位系统的响应时间提出了新的要求。这些挑战将成为定位系统未来的研究课题。

## 参考文献

- [1] Weiser M. The computer for the 21st century [J]. *Scientific American*, 1991, 265(3): 94-104
- [2] Dey A K, Abowd G D, Salber D. A conceptual framework and a toolkit for supporting the rapid prototyping of context-aware applications [J]. *Human-Computer Interaction Journal*, 2001, 16(2): 97-166
- [3] Abowd G D, Mynatt E D. Charting past, present, and future research in ubiquitous computing [J]. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 2000, 7(1): 29-58
- [4] Estrin D, Culler D, Pister K, et al. Connecting the physical world with pervasive networks [J]. *Pervasive Computing*, 2002, 1(1): 59-69
- [5] Hazas M, Scott J, Krumm J. Location-aware computing comes of age [J]. *IEEE Computer Magazine*, 2004, 37(2): 95-97
- [6] Porcino D, Hirt W. Ultra-wideband radio technology: potential and challenges ahead [J]. *IEEE Communication Magazine*, 2003, 41(7): 66-74
- [7] Gezici S, Tian Z, Giannakis G B, et al. Localization via Ultra-wideband Radios: A look at positioning aspects of future sensor networks [J]. *IEEE Signal Processing Magazine*, 2005, 22(4): 70-84
- [8] Pahlavan K, Li X R, Mäkelä J. Indoor geolocation science and technology [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2002, 40(2): 112-118
- [9] Pahlavan K, Krishnamurthy P, Beneat A. Wideband radio propagation modeling for indoor geolocation applications [J]. *IEEE Communications Magazine*, 1998, 36(4): 60-65
- [10] Patwari N, Ash J N, et al. Locating the nodes: Cooperative localization in wireless sensor network [J]. *IEEE Signal Processing Magazine*, 2005, 22(4): 54-69
- [11] Vossiek M, Wiebking L, Gulden P, et al. Wireless local positioning-concepts, solutions, applications [C] // *Proceedings of RAWCON' 03*. 2003: 219-224
- [12] Niculescu D, Nath B. Ad Hoc Positioning System (APS) Using AOA [C] // *Proceedings of Twenty-second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*. 2003: 1734-1743
- [13] Hightower J, Borriello G. Location Sensing Techniques [R]. Department of Computer Science and Engineering, University of Washington, 2001
- [14] Hightower J, Borriello G. Location Systems for Ubiquitous Computing [J]. *IEEE Computer Magazine*, 2001, 34(8): 57-66
- [15] Savvides A, Han C C, Strivastava M B. Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors [C] // *Proceedings of the 7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*. 2001: 166-179
- [16] 孙利民, 李建中, 陈渝, 等. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 138
- [17] Liu H, Darabi H, Banerjee P, et al. Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, 2007, 37(6): 1067-1080
- [18] Langendoen K, Reijers N. Distributed localization in wireless sensor networks; a quantitative comparison [J]. *Computer Networks*, 2003, 43(4): 499-518
- [19] Bahl P, Padmanabhan V N. RADAR: An Inbuilding RF-based User Location and Tracking System [C] // *Proceeding of IEEE INFOCOM 2000*. 2000: 775-784
- [20] Bahl P, Padmanabhan V N, Balachandran A. Enhancements to the RADAR User Location and Tracking System [R]. Microsoft Corporation. 2000
- [21] Want R, Hopper A, Falcao V, et al. The active badge location system [J]. *ACM Transactions on Information Systems*, 1992, 10(1): 91-102
- [22] AT&T Laboratories Cambridge. The BAT Ultrasonic Location System [EB/OL]. <http://www.cl.cam.ac.uk/research/dtg/attach/bat/>, 2009-7
- [23] Priyantha N B, Chakraborty A, Balakrishnan H. The cricket location-support system [C] // *Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*. 2000: 32-43
- [24] Ni L M, Liu Y H, Lau Y C, et al. LANDMARC: indoor location sensing using active RFID [J]. *Wireless Networks*, 2004, 10(6): 701-710
- [25] Randell C, Muller H. Low cost indoor positioning system [J]. *Lecture Notes in Computer Science Ubicomp 2001; Ubiquitous Computing*, 2001, 2201: 42-48
- [26] Jin G Y, Lu X Y, Park M S. An Indoor Localization Mechanism Using Active RFID Tag [C] // *Proceedings of the IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing*. 2006: 4-8
- [27] Hightower J, Want R, Borriello G. SpotON: An Indoor 3D Location Sensing Technology Based on RF Signal Strength [R]. Department of Computer Science and Engineering, University of Washington, 2000
- [28] Krumm J, Harris S, Brian M, et al. Multi-camera Multi-person Tracking for EasyLiving [C] // *Proceedings of the 3rd IEEE International Workshop on Visual Surveillance*. 2000: 3-10
- [29] Diego L I, Mendona P R S, Hopper A. TRIP: a Low-cost Vision-based Location System for Ubiquitous Computing [J]. *Personal and Ubiquitous Computing Journal*, 2002, 6(3): 206-219
- [30] Steggles P, Cadman J. A comparison of RF tag location products for real world applications [R]. Ubisense limited, 2004
- [31] Orr R J, Abowd G D. The Smart Floor: A Mechanism for Natural User Identification and Tracking [C] // *Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2000)*. 2000: 275-276
- [32] Addlesee M, Jones A, Livesey F, et al. The ORL Active Floor [J]. *IEEE Personal Communications*, 1997, 4(5): 35-41

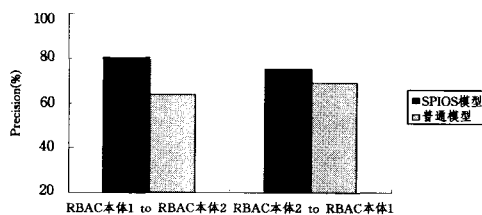


图3 两种模型关于精确度的比较

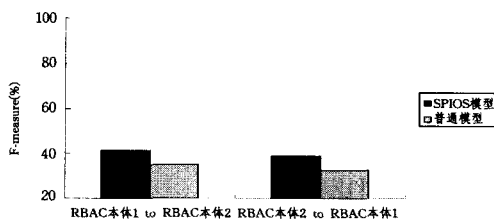


图4 两种模型关于 F-measure 参数的比较

实验结果表明:①对于相同的映射,使用了 Bayesian 学习算法的 SPIOS 模型较普通模型而言具有更高的查全率和精确度;②SPIOS 模型较普通模型而言,综合性能较好, F-measure 参数较高;③SPIOS 模型较普通模型而言稳定性较好,无论是从 RBAC 本体 1 到 RBAC 本体 2 的映射,还是从 RBAC 本体 2 到 RBAC 本体 1 的映射,查全率、精确度和 F-measure 等各项参数变化幅度不大。

**结束语** 多域环境下各成员域都使用不同的访问控制体系来维护本域的安全性和自治性,对此不同形式的语法、标记模式和约束为多域安全互操作策略集成提出了挑战,通过引入本体相似度的概念,从语义层构造并映射各成员域的 RBAC 策略;通过 Bayesian 机器学习的算法,从本体的概念、关联和实例等成员中逐步推导本体整体的映射方式,从而将各成员域的访问控制策略映射到全局访问控制本体中,形成适用于多域环境下安全性和自治性的全局 RBAC 策略。

下一步研究的重点将放在本体映射过程的简化和机器学习效率的优化上:通过对本体特征的提取,简化本体间比较和映射过程;通过对机器学习训练集的预处理,提高 Bayesian

学习的效率。

## 参考文献

- [1] Kaushik S, Wijesekera D, Ammann P. Policy-based dissemination of partial web-ontologies [C] // Proceedings of the 2005 Workshop on Secure Web Service. NY, USA, ACM, 2005: 43-52
- [2] Bezivin J, Buttner F, Gogolla M, et al. Model Transformations? Transformation Models! [C] // Nierstrasz O, Whittle J, Harel D, et al., eds. Proceedings 9th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MoDELS '2006). LNCS 4199. Berlin, 2006
- [3] Dzbor M, Kubias A, Gridinoc L, et al. The role of access rights in ontology customization[R]. Deliverable 4. 4. 1, NeOn Project, 2007
- [4] Kagal L, Berners-Lee T, Connolly D, et al. Self-describing delegation networks for the Web[C] // 7th IEEE Int. Workshop on Policies for Distributed Systems and Networks (POLICY). IEEE, 2006: 205-214
- [5] Di W, Jian L, Yabo D, et al. Using semantic Web technologies to specify constraints of RBAC[C] // 6th Int. Conf. on Parallel and Distributed Computing Applications and Technologies (PDCAT). IEEE, 2005: 543-545
- [6] 宋炜, 张铭. 语义网简明教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004
- [7] VanRijsbergen. Information Retrieval[M]. London: Butterworths, 1979
- [8] Do H, Melnik S, Rahm E. Comparison of schema matching evaluations[C] // Proceedings of the Second Int. Workshop on Web Databases (German Informatics Society). 2002
- [9] Cirio L, Cruz I F, Tamassia R. A Role and Attribute Based Access Control System Using Semantic Web Technologies[C] // IFIP WG 2. 12 and WG 12. 4 International Workshop on Semantic Web and Web Semantics (SWWS). LNCS 4806. Springer, 2007: 1256-1266
- [10] Ionita C M, Osborn S L. Specifying an Access Control Model for Ontologies for the Semantic Web[C] // Jonker W, Petkovic M, eds. SDM2005. LNCS 3674. 2005: 73-85
- [33] Kaddoura Y, King J, Helal A S. Cost-precision tradeoffs in unencumbered floor-based indoor location tracking[C] // Proceedings of the 3rd International Conference on Smart Homes and Health Telematics. 2005: 75-82
- [34] Mandal A, Lopes C V, Givargis T, et al. Beep: 3D Indoor Positioning Using Audible Sound[C] // Proceedings of the 2nd Consumer Communications and Networking Conference. 2005: 348-353
- [35] Muthukrishnan K, Lijding M, Havinga P. Towards Smart Surroundings: Enabling Techniques and Technologies for Localization [J]. Lecture Notes in Computer Science Location- and Context-Awareness, 2005, 3479: 350-362
- [36] Satyanarayanan M. Pervasive Computing: Vision and Challenges [J]. IEEE Personal Communications, 2001, 8(4): 10-17
- [37] Hazas M, Ward A. A High Performance Privacy-oriented Location System[C] // Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications. 2003: 216-223
- [38] Ray S, Ungrangsi R, Pellegrini F D, et al. Robust Location Detection in Emergency Sensor Networks [C] // Proceedings of IEEE INFOCOM. 2003: 1044-1053
- [39] Lazos L, Poovendran R, Capkun S. ROPE: robust position estimation in wireless sensor networks[C] // Proceedings of the 4th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks. 2005: 324-331
- [40] Savarese C, Rabaey J M, Langendoen K. Robust positioning algorithms for distributed ad-hoc wireless sensor networks[C] // Proceedings of the General Track, 2002 USENIX Annual Technical Conference. 2002: 317-327
- [41] Gwon Y, Jain R, Kawahara T. Robust Indoor Location Estimation of Stationary and Mobile Users[C] // Proceedings of IEEE INFOCOM. 2004: 1032-1043
- [42] Bulusu N, Heidemann J, Estrin D. GPS-less Low-cost Outdoor Location for Very Small Devices [J]. IEEE Personal Communications, 2000, 7(5): 28-34
- [43] 唐恩软件科技有限公司. 唐恩 iLocate UWB 定位系统 [EB/OL]. <http://www.donntech.com/cn/files/rtls/wendang/UWB定位系统概述.pdf>, 2009-7
- [44] Bouten C V, Koekoek K T, Verduin M, et al. A triaxial accelerometer and portable data processing unit for the assessment of daily physical activity [J]. IEEE Transactions on Bio-Medical Engineering, 1997, 44(3): 136-47

(上接第 116 页)